

中国産日本型水稻 9004 系統の多収要因の解析

第1報 面積当たりの籾数水準同一下での日本稲品種との収量性の比較

王 余 龍・山 本 由 徳*・新 田 洋 司*

(中国揚州大学農学院・*高知大学農学部)

1995年1月31日受理

要 旨: 中国江蘇省で育成された多収性 (日本型) 水稻もち系統 9004 (L9) と対照品種として出穂期がほぼ等しいうち品種コガネマサリ (KM) を供試し、穂肥の窒素施用量の多少とリン酸施用の有無を組み合わせで栽培し、L9 の多収要因の解析を行った。

両品種とも精玄米収量は、主に1穂籾数の差に基づく面積当たり籾数の差によって L9 では 675~820 g m^{-2} 、KM では 568~641 g m^{-2} で、多窒素・リン酸施用区で最も高くなった。収量はおもむろ比と、またおもむろ比はシンク容量 (m^2 当たり籾数×精籾1粒重) と高い正の相関関係を示した。穂肥のリン酸施用により、1穂籾数の増大とそれに伴う登熟歩合の低下抑制により増収したが、その程度は KM より L9 で、また少窒素区より多窒素区で顕著であった。リン酸施用は、窒素単独施用区よりもさらに葉色値を向上させ、純同化率を高め、登熟期間の乾物生産量を向上した。一方、両品種の各処理区の m^2 当りの平均収量は L9 では 735 g、KM では 588 g で約 150 g の差がみられたが、これは主に千粒重の差異 (L9: 27.7 g, KM: 23.8 g) によってもたらされた。両品種の籾穀重と登熟期間には差異は認められなかったが、L9 では登熟期間前半の籾の乾物蓄積速度が KM に比べて速く、このことが両品種の千粒重の差異の主要因と考えられた。これには L9 の籾の水分含有率が高く推移し、シンク活性が高かったこと、穂揃期の稈+葉鞘の貯蔵炭水化物が多く、さらに稈から穂にかけての維管束系の発達に KM に比べて優っていたことが関係したと推定された。

キーワード: 維管束面積、シンク容量、水稻、千粒重、多収性、窒素追肥、おもむろ比、リン酸追肥。

Analysis of the Factors of High Yielding Ability for a Japonica Type Rice Line, 9004, Bred in China

1. Comparison of yielding ability with a Japanese rice variety under the same level of spikelets number per area : Yulong WANG, Yoshinori YAMAMOTO* and Youji NITTA* (Agricultural College, Yangzhou University, Yangzhou 225009, China ; *Faculty of Agriculture, Kochi University, Nankoku, Kochi 783, Japan)

Abstract : 9004 (L9), which is a high yielding japonica type glutinous rice line developed in Jiangsu province, China, was cultivated under different combinations of nitrogen (N) application with or without phosphoric acid (P) as topdressing at the ear formation stage, to analyze the factors of high yielding ability for its line, using a Japanese non-glutinous variety with almost the same heading time, Koganemasari (KM), as a control. Both cultivars had the highest brown rice yield in the plot applied high N+P through the large number of spikelets per area based on the number of spikelets per ear, in the ranges 675-820 g m^{-2} for L9 and 568-641 g m^{-2} for KM, respectively. Strong positive correlations were observed between brown rice yield and the grain-straw ratio, and between the grain-straw ratio and sink capacity (spikelet number per $\text{m}^2 \times$ a grain weight). The yield of both cultivars was increased in the plots applied P due to the prevention of the reduction of the percentage of ripened grains that should occur as a result of the increased number of spikelets per ear. In this regard, larger increases were seen in L9 than in KM, and in high N than in low N application plots. P application with N improved leaf color and NAR compared with N application alone, and also resulted in more dry matter production during the ripening period. On the other hand, the difference of ca. 150 g m^{-2} in average yield between L9 (735 g) and KM (588 g) is mainly due to the difference of 1000-grain weight (27.7 g : L9, 23.8 g : KM). A significant difference in hull weight and ripening period between L9 and KM could not be detected, but L9 showed a faster dry matter accumulation rate per grain than KM during the first half of the ripening period. The difference of 1000-grain weight between L9 and KM was based on the high sink activity of L9 due to the high moisture percentage in a grain, and because preserves a lot of storage carbohydrate in stems and leaf sheaths, and moreover its vascular bundle system from stem to ear is superior to that of KM.

Key words : Grain-straw ratio, High yielding ability, Nitrogen topdressing, Phosphoric acid topdressing, Rice plant, Sink capacity, 1000-grain weight, Vascular bundle area.

水稻の多収実現のためには、デンプンを蓄積する籾の容量、すなわちシンク容量 (m^2 当たりの籾数×1 籾容量) の確保が前提条件となる。シンク容量の確保の方法として、1 籾容量の増大、すなわち大粒

化による方向も検討されている²⁴⁾ が、登熟不良や品質低下となりやすく、一般には m^2 当たり籾数の増大を通じてシンク容量の拡大がなされている^{8,15,23,32)}。この m^2 当たり籾数は m^2 当たり穂数お

よび1穂粒数の2要因によって決定されるが、 m^2 当たり穂数の増大は過繁茂となりやすく、登熟期間の群落内光条件の悪化により乾物生産が低下するために、1穂粒数の増大により m^2 当たり粒数を確保する方が多収穫上、有利であるとされている²³⁾。著者の一人王が所属する揚州大学は揚子江下流域の江蘇省(緯度は北緯 $31\sim 36^\circ$ で、高知県とほぼ等しい)に位置し、江蘇省は中国の水稻最多収省(88年以降の平均値で収平均収量約 750 gm^{-2})である。江蘇省では、インド型稲と日本型稲の栽培面積はほぼ相半ばし、インド型稲のうちハイブリッドライスの栽培面積は70%以上を占めている。江蘇省の多収穫栽培術の要点として次の諸点があげられる。(1)ハイブリッドライスをはじめとする1穂粒数の多い品種による m^2 当たり粒数(4.5~6万粒)の確保、(2)有効茎歩合を高めるために早期(茎数が目標穂数に到達した時期)からの中干し実施、(3)葉面積指数(LAI)を最大6~7に抑える、(4)穂肥として窒素以外にリン酸を施用するなどである。

本研究では江蘇省で育成された多収性日本型水稻もち系統9004(耐肥性穂重型で1穂粒数は約150粒程度)と対照品種として出穂期のほぼ等しいコガネマサリ(偏穂重型)を供試して、日本の西南暖地において、江蘇省における多収穫栽培技術の適応により、9004系統の収量性と収量成立について主に乾物生産特性の面から解析を試みた。

材料と方法

1. 供試品種および栽培方法

中国の多収性水稻もち系統9004(以下品種とし、L9と称する)および対照品種として出穂期のほぼ等しい水稻うるち品種コガネマサリ(以下KMと称する)を供試した。両品種の種子を慣行法に従って催芽粒とし、1994年5月9日に育苗箱($60\times 30\times 3\text{ cm}$)に播種(但し、箱当たり播種量は乾物粒換算で100g)して育苗した。そして、苗齢3.2、苗丈約11.5cmに達した両品種の苗を5月25日に高知大学農学部附属農場水田(砂質塩壌土)に、条間30cm、株間15cm(m^2 当たり22.2株)として、株当たり2本植で移植した。元肥はくみあい尿素入り複合磷加安(12:20:14)を10a当たり40kg施行した(成分量:N 4.8, P_2O_5 8.0, K_2O 5.6kg)。6月23日に中間追肥として10a当たり成分量で2kgの窒素を硫酸で施し、面積当たりの茎数が目標穂数(380~400本 $\cdot\text{m}^{-2}$)に達した7月1日に中干し(落水後1週間毎に走り

水程度の灌漑)を開始した。KMは7月21日までに3回、L9は7月31日までに4回中干しを行った。その後、収穫期まで間断灌漑を行った。雑草および病虫害の防除は適宜農薬散布により行った。

処理区は両品種について、穂肥として硫酸で窒素を成分量で m^2 当たり3または6gと過リン酸石灰でリン酸を成分量で0(無施用)または6gを穂揃期前25日および13日に半量ずつ施用する区を組み合わせた4区を設けた。KMの穂肥施用日は7月22日(穂肥1)および8月3日(穂肥2)で、L9は8月1日(穂肥1)および8月13日(穂肥2)であった。各処理区的面積は 18 m^2 ($3\times 6\text{ m}$)であり、各2反復で実施した。

2. 調査項目および調査方法

移植後、定期的に処理区毎に10株(2反復計20株)の茎数と草丈を測定した。有効分げつ終了期(7月1日)から収穫期1週間前にかけて、ほぼ1週間毎に各処理区の主茎5本について展開完了した上位3葉の葉色を葉緑素計(ミノルタ、SPAD-501型)で測定し、その平均値を算出した。穂肥1施用前日(KM:7月21日、L9:7月31日)、穂揃期(KM:8月16日、L9:8月26日)、穂揃期後15日、成熟期(KM:9月26日、L9:10月5日)に、各試験区から30株(2反復計60株)の茎数を調査し、その平均値に近い3株(2反復計6株)を掘り取り、茎数、草丈、稈長(穂揃期後15日と成熟期のみ)について調査し、それらの値が平均値に近い1株を選び、葉面積を測定した。全株を 95°C で1時間、 65°C で72時間以上通風乾燥して、葉面積を測定した1株と、残り5株の葉身、稈+葉鞘、穂(穂揃期、穂揃期後15日および成熟期のみ)、枯死部別に乾物重を測定した。株当たりの平均葉面積は、部位別の乾物重を測定した6株の平均葉身乾物重に、葉面積を測定した株の比葉面積を乗じて求めた。葉面積指数は株当たりの平均葉面積に栽植密度を乗じて算出した。穂揃期と成熟期の稈+葉鞘の乾物試料を粉碎し、全糖とデンプンを村山ら¹⁶⁾の方法に従って測定した。

穂揃期に各処理区毎に穂首節が止葉の葉鞘から抽出したばかりの約150穂に札を付け、翌日に10穂を稈基部から切り取り、実験室に持ち帰った。直ちに穂首節から切り取り、穂の新鮮重を測定した。そして、 95°C で1時間、 65°C で72時間以上通風乾燥して、粒1粒当たりの乾物重を算出した。その後、成熟期まで5日間隔で8回、同様の方法で穂重および粒重を測定した。

第 1 表 収量および収量構成要素.

| 品種 | 処理* (穂肥施用量) | 穂数 (本・m ⁻²) | 1 穂粒数 | 登熟歩合 (%) | 千粒重** (g) | 面積当たり粒数 (個・m ⁻²) | 精玄米収量 (g m ⁻²) |
|---------------|----------------|----------------------------|-------|-------------|--------------|---------------------------------|-------------------------------|
| コガネマサリ | 3 N | 347 | 77.9 | 89.2 | 23.6 | 26988 | 569 |
| | 3 N+6 P | 340 | 78.7 | 91.4 | 23.6 | 26681 | 572 |
| | 6 N | 350 | 80.6 | 84.8 | 23.8 | 28207 | 568 |
| | 6 N+6 P | 362 | 84.0 | 87.5 | 24.1 | 30374 | 641 |
| 9004 | 3 N | 314 | 85.6 | 91.0 | 27.6 | 26852 | 675 |
| | 3 N+6 P | 321 | 91.5 | 88.0 | 27.5 | 29373 | 710 |
| | 6 N | 326 | 94.3 | 86.6 | 27.7 | 30764 | 737 |
| | 6 N+6 P | 330 | 101.9 | 86.8 | 28.1 | 33669 | 820 |
| コガネマサリ | N | 348 | 79.2 | 87.0 | 23.7 | 27595 | 569 |
| | N+P | 351 | 81.3 | 89.2 | 23.9 | 28498 | 607 |
| 9004 | N | 320 | 90.0 | 88.8 | 27.6 | 28780 | 706 |
| | N+P | 326 | 96.7 | 87.4 | 27.8 | 31497 | 764 |
| コガネマサリ | 平均 | 350 | 80.3 | 88.1 | 23.8 | 28045 | 588 |
| 9004 | 平均 | 323 | 93.3 | 88.1 | 27.7 | 30129 | 735 |
| LSD (0.05)*** | | 12 | 6.1 | 1.6 | 1.7 | 1830 | 66 |

* N, P はそれぞれ穂肥に施用した窒素, リン酸の m² 当たり成分量 (g) を示す. N, N+P はそれぞれ窒素のみ施用区, 窒素・リン酸施用区の平均値.

含水率 15% に補正. *各処理間の LSD (0.05) を示す.

成熟期に両品種の穂肥窒素 6 g 施用区から, 平均穂数に近い株 3 株を抜き取り, 穂首節の下 0.5 cm で切り取った穂を FAA 液に保存した. そして, 平均値に近い穂長を持つ 6 茎を選び, 穂首から切り, ニフトコ髓に穂首節間部をはさみ, カミソリの刃で徒手切片を作成した. この切片について, 透過型光学顕微鏡 (オリンパス社製, BH-2 型) で稈および維管束の形態を観察するとともに, ビデオマイクロメーター (オリンパス社製, VM-30 型) にその画像をとり込み, 稈および維管束の大きさ等の諸形質を測定した.

また, 成熟期に収量構成要素を調査するために, 各試験区から 30 株 (2 反復で計 60 株) を抜き取り, 十分に風乾した後, 穂重, 穂数を測定し, 両品種とも各試験区毎に平均値に近い 6 株 (2 反復で計 12 株) について常法¹⁵⁾に従って収量構成要素 (但し, 登熟歩合測定の比重は L9 では 1.03, KM では 1.06 とした) とわら重を測定した. そして, それらの積によって株当たり平均収量, もみわら比を算出し, さらに栽植密度との積により m² 当たりの収量 (精玄米の水分含量は 15% に補正) を算出した. また, 両品種の成熟期の精粒の粒穀重を約 300 粒について測定して, もみすり歩合を測定した.

結 果

1. 収量並びに収量構成要素

収量および収量構成要素を第 1 表に示した. なお, 平均最終草丈 (稈長) は KM で 112 (89) cm, L9 で 95 (76) cm であり, 両品種とも処理間の差は小さかった. 各処理区の平均値で両品種を比較してみると, L9 の穂数は KM より少ないが, 1 穂粒数が KM より 13 粒多く, m² 当たりの粒数は約 2000 粒 (7%) 多かった. 登熟歩合は両品種とも 88.1% で等しく, 千粒重は L9 が約 4 g 高かった. これらより, m² 当たりの精玄米収量は L9 で 735 g となり, KM の 588 g より約 150 g 高くなった. L9 の m² 当たりの粒数は 2.7~3.4 万粒で, 中国江蘇省での一般的な 4~5 万粒を確保できなかったのは, 供試水田の土壌地力が低く, また, この低い地力に対して中干しの期間が長過ぎたために, 幼穂形成期の葉色が低下しすぎ (第 3 図), さらに, 強度の中干しにより透水が激しくなり, 穂肥の肥効が十分に発現しなかったことが考えられた.

穂肥の窒素施用量の増加により, 両品種とも穂数がやや増加し, 1 穂粒数は明らかに向上した. また面積当たりの粒数は KM が約 5%, L9 は約 15% 向上したが, 粒数の増加に伴い両品種の登熟歩合はいずれも低下した. しかし, KM では登熟歩合の低下程

第2表 もみわら比, もみすり歩合および割れ粳割合.

| 品種 | 処理* (穂肥施用量) | 精粳収量 (g・m ⁻²) | わら重 (g・m ⁻²) | もみわら比 | 千粒精粳穀重 (g) | もみすり歩合 (%) | 割れ粳割合 (%) |
|---------------|----------------|------------------------------|-----------------------------|-------|---------------|---------------|--------------|
| コガネマサリ | 3 N | 658 | 1172 | 0.56 | 4.98 | 82.6 | 3.0 |
| | 3 N+6 P | 665 | 1148 | 0.58 | 5.13 | 82.2 | 3.2 |
| | 6 N | 653 | 1092 | 0.60 | 4.87 | 83.0 | 3.8 |
| | 6 N+6 P | 738 | 1116 | 0.66 | 5.11 | 82.5 | 3.4 |
| 9004 | N | 782 | 1040 | 0.75 | 5.08 | 84.5 | 46.5 |
| | 3 N+6 P | 821 | 1011 | 0.81 | 5.12 | 84.3 | 47.5 |
| | 6 N | 846 | 1024 | 0.83 | 4.92 | 84.9 | 48.3 |
| | 6 N+6 P | 943 | 1076 | 0.88 | 5.07 | 84.8 | 46.2 |
| コガネマサリ | N | 656 | 1132 | 0.58 | 4.92 | 82.8 | 3.4 |
| | N+P | 701 | 1132 | 0.62 | 5.12 | 82.4 | 3.3 |
| 9004 | N | 816 | 1032 | 0.79 | 5.00 | 84.7 | 47.4 |
| | N+P | 882 | 1043 | 0.84 | 5.10 | 84.5 | 46.9 |
| コガネマサリ | 平均 | 678 | 1132 | 0.60 | 5.02 | 82.6 | 3.4 |
| 9004 | 平均 | 849 | 1038 | 0.82 | 5.05 | 84.6 | 47.2 |
| LSD (0.05) ** | | 75 | 45 | 0.09 | 0.15 | 0.9 | 18.8 |

*, ** 第1表参照.

度が大きく、面積当たりの粳数は増加したが、ほとんど増収しなかったのに対して、L9では粳数の増加程度が大きく、さらに登熟歩合の低下程度が小さく62 g 増収した。

穂肥のリン酸施用により1穂粳数は品種、窒素施用量にかかわらずいずれも向上したが、増加程度は品種、窒素施用量により大きな差が認められた。すなわち、1穂粳数の増加程度はKMよりL9が、また穂肥の窒素施用量の少ない区より多い区の方が高かった。リン酸施用が登熟歩合と千粒重に及ぼす影響はほとんど認められず、リン酸施用による増収は1穂粳数の増加によるものであり、穂肥窒素施用量の少ない場合には、KMで3 g, L9で35 g 向上したのに対して、穂肥施用量の多い場合には、KMで73 g, L9で83 g も増収した。

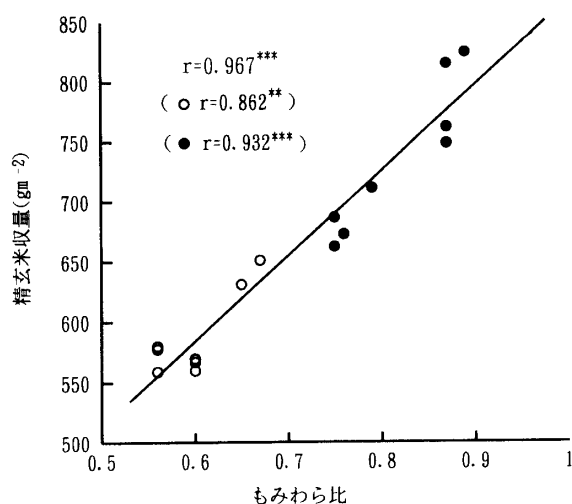
各処理区の収量と収量構成要素との関係については、収量と登熟歩合との間の相関係数は $r = -0.214$ で有意な相関関係が認められなかったが、面積当たりの粳数との間にはKMで $r = 0.844^{**}$, L9で $r = 0.965^{***}$, 両品種を込みにして $r = 0.822^{***}$ と、いずれも1%または0.1%水準で有意な正の相関関係が認められた。また、収量と千粒重との間にはKMでは有意な相関関係($r = 0.381$)がみられなかったが、L9では $r = 0.741^{*}$ と5%水準で有意な正の相関関係が認められ、両品種を込みにすると $r = 0.881^{***}$ で、0.1%で有意な正の相関関係が認められた。すなわち、窒素施用量、リン酸施用有無の各処理間の収

量の差は、両品種とも主に面積当たりの粳数によってもたらされたものと考えられた。品種間の収量差は面積当たり粳数と千粒重の差異、とくに千粒重の差異によるものと考えられた。

各処理区の精粳収量、わら重、もみわら比およびもみすり歩合を第2表に示した。全処理区での平均のm²当たりの精粳収量は、L9が849 gであり、KMの678 gより170 g程度高かったが、それとは逆にわら重は、KMがL9より約100 g高かった。また、窒素施用量の増加とリン酸施用に伴い両品種のいずれの処理区でももみわら比が向上した。もみわら比の平均値をみるとL9で0.82となりKMの0.60より1%水準で有意に高かった。もみすり歩合はL9が84.6%と、KMの82.6%より2%高かった。もみわら比と精玄米収量およびもみわら比とシンク容量(面積当たり粳数×精粳1粒重、第1表)の間には品種別および両品種を込みにみた場合のいずれにおいても高い有意な正の相関関係が認められた(第1, 第2図)。

2. 収量成立と乾物生産との関係

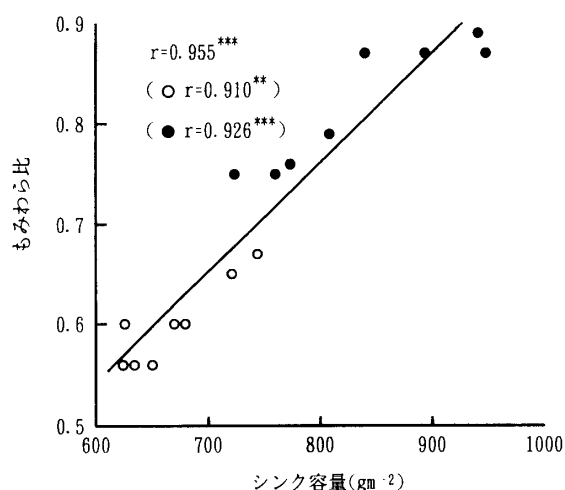
幼穂形成期と登熟期の乾物生産速度(CGR), 平均葉面積(LAI), 純同化率(NAR)を第3表に示した。L9のNARは幼穂形成期と登熟期のいずれも5%水準でKMより有意に高く、LAIはKMの方が有意に高かった。そして、両者の積、すなわちCGRは幼穂形成期にはL9の方がKMより高く、登熟期にはKMの方がやや高くなったが、有意な差はなかつ



第 1 図 もみわら比と収量との関係。

○: コガネマサリ, ●: 9004.

, *: それぞれ 1%, 0.1% 水準で有意。



第 2 図 シンク容量ともみわら比との関係。

記号は第 1 図と同じ。

, *: それぞれ 1%, 0.1% 水準で有意。

第 3 表 幼穂形成期と登熟期間の生長パラメータ。

| 品種 | 処理* (穂肥施用量) | 穂揃期前 25 日～穂揃期 | | | 穂揃期～成熟期 | | |
|----------------|----------------|---------------|-------|-------|---------|------|------|
| | | CGR** | LAI** | NAR** | CGR | LAI | NAR |
| コガネマサリ | N | 23.1 | 5.85 | 3.95 | 13.0 | 4.39 | 2.96 |
| | 3 N+6 P | 25.8 | 5.56 | 4.64 | 12.9 | 4.44 | 2.91 |
| | 6 N | 24.1 | 5.98 | 4.02 | 14.5 | 5.09 | 2.85 |
| | 6 N+6 P | 24.6 | 5.74 | 4.28 | 16.0 | 4.85 | 3.31 |
| 9004 | 3 N | 27.6 | 5.32 | 5.19 | 12.9 | 4.12 | 3.13 |
| | 3 N+6 P | 24.1 | 5.53 | 4.36 | 13.3 | 3.89 | 3.42 |
| | 6 N | 28.0 | 5.32 | 5.26 | 13.6 | 4.56 | 2.99 |
| | 6 N+6 P | 25.3 | 5.54 | 4.56 | 15.6 | 4.08 | 3.84 |
| コガネマサリ | N | 23.6 | 5.92 | 3.99 | 13.8 | 4.75 | 2.89 |
| | N+P | 25.2 | 5.65 | 4.46 | 14.5 | 4.64 | 3.12 |
| 9004 | N | 27.8 | 5.32 | 5.23 | 13.3 | 4.34 | 3.06 |
| | N+P | 24.7 | 5.54 | 4.46 | 14.5 | 3.89 | 3.63 |
| コガネマサリ | 平均 | 24.4 | 5.78 | 4.22 | 14.1 | 4.70 | 3.01 |
| 9004 | 平均 | 26.3 | 5.43 | 4.83 | 13.9 | 4.16 | 3.33 |
| LSD (0.05) *** | | 1.5 | 0.19 | 0.38 | 0.9 | 0.33 | 0.26 |

*, *** 第 1 表参照。

** CGR: 個体群生長速度 ($\text{gm}^{-2}\text{day}^{-1}$), LAI: 平均葉面積指数, NAR: 純同化率 ($\text{gm}^{-2}\text{day}^{-1}$)。

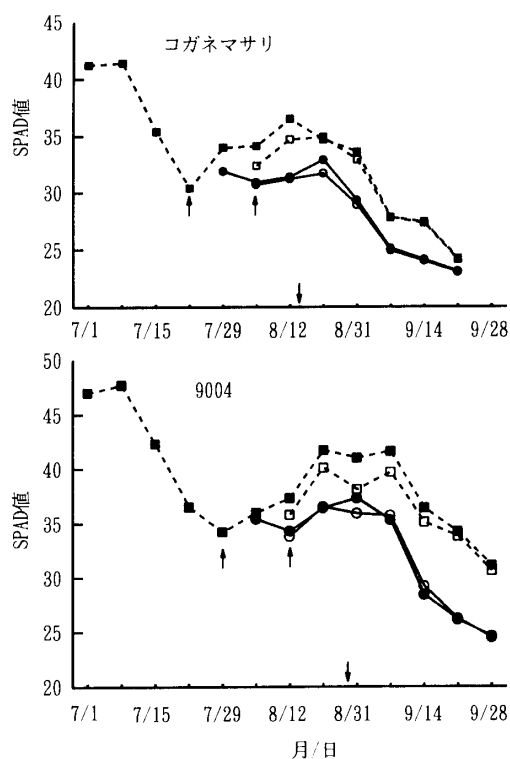
た。L9 の幼穂形成期の CGR が KM より高くなった結果、幼穂形成期の 1 茎当たりの乾物蓄積量が L9 で 2.03 g となり、KM の 1.74 g より約 16.7% 高かった。この比率は L9 の 1 穂粒数が KM より 16.2% (13 粒) 高くなった比率とほぼ一致することから、シンク容量を構成する 1 穂粒数は幼穂形成期の茎当たりの乾物蓄積量の多さによって左右されたことが推定された。

両品種とも穂肥の窒素施用量の増加につれて

LAI は大きくなり、幼穂形成期の NAR もやや高くなった。穂肥のリン酸施用が LAI に及ぼす影響はほとんどみられないが、NAR は KM では登熟期の少窒素区を除いて、幼穂形成期と登熟期のいずれも向上し、L9 では幼穂形成期にはやや低下したが、登熟期には約 20% 向上した。上位 3 枚の展開完了した葉身について有効分げつ終了期から収穫期前 1 週間にかけて測定した葉色値は KM に比べて L9 で常に高く推移し、穂肥リン酸施用による葉色の向上効果と

穂揃期後の葉色の低下抑制効果は KM より L9 の方が、また窒素施行量の少ない処理区より窒素多用の

処理区の方が大きく (第3図)、NAR と同じ傾向が認められた。



第3図 リン酸施用が葉色 (SPAD 値)* に及ぼす影響。○: 少窒素, ●: 少窒素リン, □: 多窒素, ■: 多窒素リン。* 主茎の上位3展開葉身の平均値。

↑: 穂肥 1, 2 の施用時期を示す。

↓: 穂揃期を示す。

登熟期の穂重増加量 (乾物重) は収量と同様に、KM より L9 の方が、またリン酸無施用区よりリン酸施用区の方が高かった (第4表)。穂重増加量を登熟期の乾物生産量と茎葉部からの移行量、すなわち登熟期間の茎葉部乾物重減少量に分けてみると、登熟期の乾物生産量では品種間にほとんど差はみられないが、両品種ともリン酸施用区は無施用区より多く、特に窒素施用量の多いリン酸施用区では顕著であった。一方、茎葉部乾物重減少量については大きな品種間差が認められ、L9 の茎葉乾物重減少量 $104 \sim 137 \text{ gm}^{-2}$ 、平均 125 gm^{-2} (穂重増加量への貢献度は $17 \sim 20\%$ 、平均 18%) に対して、KM では少窒素リン区を除き、むしろ蓄積した。さらに、この点を明らかにするために、穂揃期と成熟期における稈+葉鞘部の全糖とデンプンの動態について検討した。穂揃期の全糖含有率は KM は $2.5 \sim 3.1\%$ 、L9 は $2.1 \sim 3.2\%$ で品種間差はみられなかった。これに対して、デンプン含有率は KM は $16.7 \sim 17.9\%$ 、L9 は $21.3 \sim 23.5\%$ で KM より約 5% 高かった。一方、成熟期の全糖含有率は両品種とも約 4% 増加し、KM は $6.2 \sim 7.0\%$ 、L9 は $6.3 \sim 7.7\%$ となった。成熟期のデンプン含有率は KM では $15.9 \sim 17.0\%$ で穂揃期とほとんど変化しなかったのに対して、L9 では $10.8 \sim 12.4\%$ となり、穂揃期に比べて 10% 以上減少した。この稈+葉鞘部の全糖+デンプン含有率と乾物

第4表 登熟期の穂重増加量および内訳。

| 品種 | 処理* (穂肥施用量) | 穂重増加量 (A, gm^{-2}) | 乾物生産量 (B, gm^{-2}) | 茎葉重増減量 (C, gm^{-2}) | B/A (%) | C/A (%) |
|---------------|----------------|---------------------------------|---------------------------------|----------------------------------|------------|------------|
| コガネマサリ | 3 N | 519.0 | 519.8 | 0.8 | 100.2 | 0.2 |
| | 3 N+6 P | 533.5 | 517.6 | -15.9 | 97.0 | -3.0 |
| | 6 N | 539.0 | 579.0 | 40.9 | 107.6 | 7.6 |
| | 6 N+6 P | 598.0 | 641.6 | 43.6 | 107.3 | 7.3 |
| 9004 | 3 N | 619.0 | 515.3 | -103.7 | 83.3 | -16.7 |
| | 3 N+6 P | 662.5 | 531.1 | -131.4 | 80.2 | -19.8 |
| | 6 N | 682.5 | 545.6 | -136.9 | 79.9 | -20.1 |
| | 6 N+6 P | 754.5 | 625.6 | -128.9 | 82.9 | -17.1 |
| コガネマサリ | N | 529.0 | 549.8 | 20.9 | 103.9 | 3.9 |
| | N+P | 565.8 | 579.6 | 13.8 | 102.2 | 2.2 |
| 9004 | N | 650.8 | 530.5 | -120.3 | 81.5 | -18.5 |
| | N+P | 708.5 | 578.4 | -130.1 | 81.6 | -18.4 |
| コガネマサリ | 平均 | 547.4 | 564.7 | 17.3 | 103.1 | 3.1 |
| 9004 | 平均 | 679.6 | 554.4 | -125.2 | 81.6 | -18.4 |
| LSD (0.05) ** | | 59.3 | 37.5 | 56.8 | 8.6 | 8.6 |

*, ** 第1表参照。

第 5 表 登熟期の稈+葉鞘の貯蔵炭水化物増減量の処理間差異。

| 品種 | 処理* (穂肥施用量) | 穂揃期含有量 (gm ⁻²) | | | 成熟期含有量 (gm ⁻²) | | | 貯蔵炭水化物増 減量 (gm ⁻²) |
|--------------|----------------|----------------------------|-------|-------|----------------------------|-------|-------|-----------------------------------|
| | | 全糖 | デンプン | 合計 | 全糖 | デンプン | 合計 | |
| コガネマサリ | 3 N | 22.0 | 136.3 | 158.3 | 51.2 | 123.8 | 175.0 | 16.7 |
| | 3 N+6 P | 24.6 | 139.1 | 163.7 | 47.5 | 117.6 | 165.1 | 1.6 |
| | 6 N | 19.4 | 134.6 | 154.0 | 50.8 | 127.6 | 178.4 | 24.4 |
| | 6 N+6 P | 19.5 | 127.5 | 147.0 | 47.6 | 131.5 | 179.1 | 32.1 |
| 9004 | 3 N | 28.7 | 201.4 | 230.1 | 53.3 | 80.8 | 134.1 | -96.0 |
| | 3 N+6 P | 27.7 | 209.4 | 237.1 | 49.8 | 81.3 | 131.1 | -106.0 |
| | 6 N | 19.4 | 194.5 | 213.9 | 42.8 | 72.6 | 115.4 | -98.5 |
| | 6 N+6 P | 24.7 | 212.5 | 237.2 | 42.2 | 72.9 | 115.1 | -122.1 |
| コガネマサリ | N | 20.7 | 135.4 | 156.1 | 51.0 | 125.7 | 176.7 | 20.6 |
| | N+P | 22.1 | 133.3 | 155.4 | 47.6 | 124.6 | 172.2 | 16.8 |
| 9004 | N | 24.1 | 197.9 | 222.0 | 48.0 | 76.7 | 124.7 | -97.3 |
| | N+P | 26.2 | 210.9 | 237.1 | 46.0 | 77.1 | 123.1 | -114.0 |
| コガネマサリ | 平均 | 21.4 | 134.3 | 155.7 | 47.3 | 125.1 | 174.4 | 18.7 |
| 9004 | 平均 | 25.1 | 204.4 | 229.5 | 47.0 | 76.9 | 123.9 | -105.6 |
| LSD (0.05**) | | 3.2 | 26.9 | 28.7 | 3.3 | 18.9 | 20.3 | 47.8 |

*, ** 第 1 表参照。

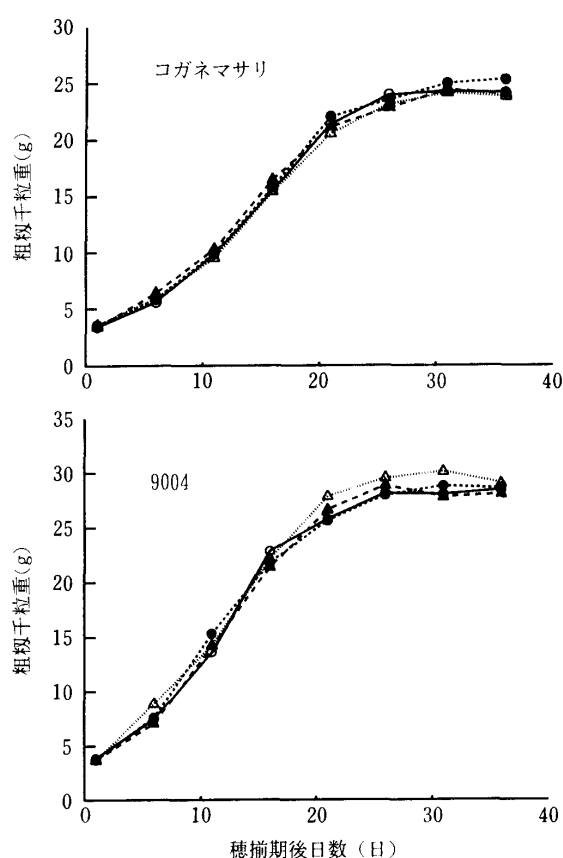
重より、登熟期における稈+葉鞘の貯蔵炭水化物の穂への移行量をみると、L9 は m² 当たり 96~122 g、

平均 106 g に対して、KM は 1~32 g、平均で 19 g 蓄積した(第 5 表)、そして、第 5 表の稈+葉鞘の貯蔵炭水化物の穂への移行量と第 4 表の茎葉重減少量との間には 0.1%水準で有意な正の相関関係 ($r=0.982^{***}$) が認められた。

3. 登熟過程の解析

上述のように、L9 の収量は KM より 150 gm⁻² 高く約 25%増収したが、両品種の登熟歩合は等しく籾数の差は約 7%しかなく、主因は千粒重の差異と考えられた。そこで、登熟(粒重の増加)過程の解析を行った。

粗粒千粒重に増加過程は両品種の各処理のいずれも第 4 図のように S 字曲線で表され、Logistic 関数式「 $Y=K/(1+ae^{-bx})$ 」に適合し(但し、K は理論最大粒重、Y は穂揃期後 X 日目の粒重、a, b は定数)、いずれも 0.1%水準で有意な相関関係 ($r=-0.940^{***} \sim -0.986^{***}$) が認められた。そこで、この関係式により両品種の各処理区について穂揃期後 5 日毎の粗粒千粒重の増加速度と粒重 99%までの登熟日数を算出して第 6 表に示した。最大粗粒千粒重 99%までの登熟日数は KM で 30~32 日で、L9 の 28~31 日より約 2 日長かった。籾の乾物増加速度は両品種とも穂肥窒素施用量とリン酸施用の差は小さく、品種間差が大きかった。L9 の穂揃期後 1~6 日、6 日~11 日、11~16 日の間の乾物増加速度は KM よりそれぞれ 50%, 61%, 32%高かったが、その後はほぼ同じ値となった。



第 4 図 粗粒千粒重の推移。

○:少窒素, ●:少窒素リン, △:多窒素, ▲:多窒素リン。

籾の水分含有率は籾の炭水化物の受け入れ能力と密接に関係する^{26,28)}。KMとL9の籾の粒重および含水率の推移を比較すると第5図のとおりである。穂揃期後6日の穂の含水率は両品種とも穂揃期よりやや高くなり、その後低下したが、いずれの時期でもL9の籾重がKMより重いにもかかわらず、穂揃期後36日を除いて含水率は常にKMより高く推移した。

4. 穂首節間の維管束の品種間差異

穎花への物質（主に炭水化物）の蓄積は、炭水化物の供給量とともに、稈から枝梗、籾に至る維管束の発達程度と関係するとされ¹¹⁾、特に穂首節間の大維管束の発達程度は多収性水稻の登熟と密接に関係するとされている^{10,12)}ことから、両品種の多窒素区について株当たりの平均穂長を示した穂の穂首節間の諸形質を調査した結果を第7表に示した。L9の穂首横断面積、稈壁面積はKMよりそれぞれ26%、30%大きく、いずれも5%水準で有意な差が認められた。両品種の大維管束数はほぼ同じであるが、個々の大維管束面積、同節部面積には大きな品種間差が認められた。すなわち、L9の大維管束1個当たりの面積はKMより51%、同節部面積は42%大きかった。また、1籾当たり的大維管束、同節部面積を比較するとL9でKMよりそれぞれ31%、24%大きかった。

考 察

中国江蘇省で育成された多収性もちL9（日本型稲）の多収要因の解析を対照品種として出穂期のほぼ等しいKMを供試して試みた。L9の m^2 当たり籾数水準は、供試水田の地力の低さと強度の中干しにより透水が激しくなり、穂肥の肥効が悪くなったことなどによって、1穂籾数が85~100粒と低く抑えられ、江蘇省での一般的な4~5万粒に比べ1.5~2万粒少ない2.7~3.4万粒でKMの2.7~3.0万粒とほぼ等しくなった。しかし、そのような場合においても、L9の面積当たりの籾数は少窒素区ではKMとほぼ同じであるが、多窒素区は約9%、少窒素リン酸区は約10%、多窒素リン酸区は約11%高く、精玄米収量はそれぞれ18.6%、24.0%、29.6%、27.9%高かった（第1表）。この各処理区に面積当たりの籾数は、穂数よりも1穂籾数に強く支配されたと考えられた（第1表）。また、L9の各処理区の増収程度が面積当たり籾数の増加程度よりも大きくなったことは、登熟歩合の差異によるものではなく、千粒量の

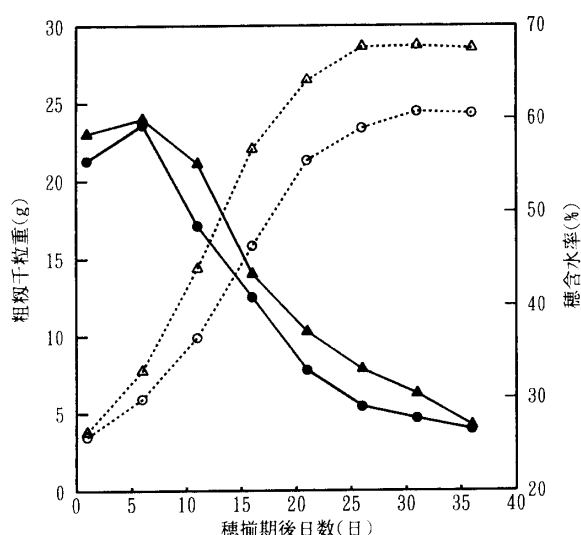
差異によるものであった（第1表）。穂肥窒素施用量の増加により1穂籾数は増大し（第1表）、従来の結果と一致した^{15,27)}。中国江蘇省の水稻多収獲栽培法では穂肥として窒素とともにリン酸を施用する¹⁾が、穂肥としてのリン酸施用により1穂籾数が増加するという報告は従来みられなかった。本研究では、幼穂形成期のリン酸施用により1穂籾数が品種、各窒素処理区のいずれにおいても増加した（第1表）が、KMよりL9の方が、穂肥の窒素施用量の少ない区より窒素多用区の方が1穂籾数の増加量は多かった。このことにより、穂肥のリン酸施用による籾数の増加程度は品種、窒素施用量などによって異なると考えられる。従来、多収性の半矮性インド型稲や日印交雑稲では窒素に対する籾数増加反応が日本型稲に比べて高いことが報告されている^{3,4,13,23)}。また、ここで注目すべきことは穂肥の窒素単独施用量の増加により面積当たりの籾数は向上するが、両品種とも登熟歩合は低下したのに対して、窒素とともにリン酸を施用すると面積当たりの籾数が増加した場合にも、登熟歩合は全く低下しなかったことである（第1表）。穂肥としてリン酸施用による幼穂形成期の葉面積の増加や登熟期の葉面積の低下防止への影響はみられなかったが、リン酸施用区に葉色はつねに無施用区より高く推移し（第3図）、特に窒素施用量の多い区で顕著であり、純同化率は明らかに向上し、登熟期の乾物生産量も増加した（第3表）。すなわち、リン酸施用により面積当たりの籾数が向上すると同時に、登熟期の乾物生産量も向上して、登熟歩合の低下を防止したものと考えられる。

精玄米収量（ m^2 当たりKM:568~641g, L9:675~820g, 第1表）の品種間差異は、登熟期間の乾物生産量の差異によるものではなく（第4表）、主に登熟期間の稈+葉鞘から穂への貯蔵炭水化物の転流量の多少によるもの（第4、第5表）であり、この点については、既に、多収性半矮性インド型稲^{5,6,18,30)}、日印交雑稲^{5,6,18,30,31)}やハイブリッドライス^{1,21)}で広く認められている結果と一致した。一方、両品種の各処理区の精玄米収量の差異は、主に登熟期間の乾物生産量の多少によるものであり、これには面積当たりの籾数の差異が密接に関係した。特に、上述したように、穂肥としてのリン酸の施行は、1穂籾数の増大を通して面積当たり籾数を増大させたのみならず、葉身の光合成速度⁹⁾を通して登熟期間の乾物生産向上に作用した点は注目される。そして、精玄米収量ともみわら比との間には両品種とも非常に高い

第 6 表 籾の乾物増加速度および登熟期間の処理間の差異.

| 品種 | 処理* (穂肥施用量) | 籾 1 粒の乾物増加速度 (mgday ⁻¹) | | | | | | | 粒重 99% までの 登熟日数 (日) |
|--------|----------------|-------------------------------------|------|-------|-------|-------|-------|-------|------------------------|
| | | 1~6** | 6~11 | 11~16 | 16~21 | 21~26 | 26~31 | 31~36 | |
| コガネマサリ | 3 N | 0.20 | 0.71 | 1.44 | 1.19 | 0.44 | 0.11 | 0.03 | 30 |
| | 3 N+6 P | 0.18 | 0.61 | 1.35 | 1.34 | 0.60 | 0.18 | 0.04 | 32 |
| | 6 N | 0.19 | 0.62 | 1.28 | 1.21 | 0.54 | 0.16 | 0.04 | 32 |
| | 6 N+6 P | 0.22 | 0.68 | 1.33 | 1.18 | 0.51 | 0.15 | 0.04 | 32 |
| 9004 | 3 N | 0.27 | 1.02 | 1.92 | 1.21 | 0.34 | 0.07 | 0.01 | 28 |
| | 3 N+6 P | 0.31 | 1.03 | 1.81 | 1.24 | 0.41 | 0.10 | 0.02 | 29 |
| | 6 N | 0.36 | 1.07 | 1.78 | 1.29 | 0.48 | 0.13 | 0.03 | 30 |
| | 6 N+6 P | 0.37 | 1.00 | 1.60 | 1.22 | 0.50 | 0.15 | 0.04 | 31 |
| コガネマサリ | 平均 | 0.20 | 0.64 | 1.35 | 1.23 | 0.52 | 0.15 | 0.04 | 32 |
| 9004 | 平均 | 0.30 | 1.03 | 1.78 | 1.24 | 0.43 | 0.11 | 0.03 | 30 |

* 第 1 表参照. ** 穂揃期後日数.



第 5 図 粗籾千粒重および穂の含水率の推移.

○: コガネマサリ千粒重, ●: コガネマサリ含水率, △: 9004 千粒重, ▲: 9004 含水率.
両品種とも各処理区の平均値.

正の相関関係がみられ(第 1 図), もみわら比が高い区ほど収量が高く, 従来の武田ら^{22,23)}, 翁ら³⁰⁾, 斎藤ら^{18,19)}, 天野ら¹⁾などの結果と一致した. また, 両品種ともみわら比とシンク容量⁸⁾(面積当たり籾数×精籾 1 粒重)との間にも高い正の相関関係が認められたこと(第 2 図)から, もみわら比は主にシンク容量の大きさによって左右されたと考えられる. シンク容量を構成する面積当たりの籾数の両品種の差異は, 上述したように主に 1 穂籾数によるものであったが, この 1 穂籾数は幼穂形成期に 1 茎当たりの乾物生産量と密接な関係にあり(第 1, 第 3 表), 乾物生産量が多いものほど退化穎花数が少なく, 1 穂籾数が多くなったと考えられる^{15,27)}. 本研究では両

品種間の籾数の差が小さく, シンク容量の差異は主に千粒重の差によるものと考えられた(第 1 表). また, 両品種の籾殻重には有意な差が認められなかったこと(第 2 表)から, 籾 1 粒当たりの容積はほぼ等しかったものと推定される²⁰⁾. しかし, L9 の精玄米千粒重は KM より 4 g 高かった(第 1 表). このことより, 籾殻重が同じでも千粒重はかなり変動するものと考えられる.

千粒重は登熟日数と登熟期間の乾物蓄積速度の積である. L9 の登熟日数は KM より約 2 日短かった(第 6 表)ことから, 千粒重が KM より 4 g 高かったのは登熟日数が長くなったためではなく, 乾物の蓄積速度が速かったことに基因したと考えられた. 穂揃期後の 5 日毎の籾の乾物蓄積速度をみると, 登熟期後半の乾物蓄積速度は L9 と KM でほぼ同じ値であったが, 登熟期前半の乾物蓄積速度が KM より 32~61% 高かった(第 6 表). すなわち, 登熟期前半の乾物蓄積速度の差異が両品種の千粒重と密接に関係したと考えられる.

一般的に籾の乾物蓄積に伴い, 含有率が低下し^{7,14,26,28)}, 呼吸速度も急速に低下する^{26,28)}. そして, それに伴って胚乳における糖からデンプンへの合成速度も低下し²⁹⁾, 登熟が進行して含水率が 20~25% に低下すると, 穂軸の中に糖があっても, 籾に輸送することができなくなり²⁹⁾, 籾の乾物蓄積は停止するとされている^{7,26,29)}. L9 では登熟期間を通じて, 粗籾千粒重が KM より高いにもかかわらず, 穂の含水率は常に KM より高く維持された(第 5 図). このことから, L9 の籾の受け入れ能力(シンク活性)が KM より強かったことが推定され, 特に登熟期前半の籾の乾物蓄積速度の差異に反映されたと考えられた.

第7表 穂首節間の諸形質の品種間の差異。

| 品種 | 穂首横断面積 (mm ²) | 稈壁面積 (mm ²) | 髓面積 (mm ²) | 大維管束数 (個/茎) | 大維管束面積 (μm ²) | 同節部面積 (μm ²) | 1 穎花当たり 大維管束面積 (μm ²) | 1 穎花当たり 同節部面積 (μm ²) |
|-------------|------------------------------|----------------------------|---------------------------|----------------|------------------------------|-----------------------------|---|--|
| コガネマサリ | 1.87 | 1.27 | 0.59 | 10.0 | 18658 | 3312 | 2315 | 411 |
| 9004 | 2.36 | 1.66 | 0.70 | 10.2 | 28161 | 4704 | 3040 | 508 |
| 9004/コガネマサリ | 1.26 | 1.30 | 1.18 | 1.0 | 1.51 | 1.42 | 1.31 | 1.24 |
| LSD (0.05) | 0.35 | 0.30 | 0.15 | 1.0 | 4101 | 658 | — | — |

両品種の多窒素区 (第1表参照) について調査。

津野・中井²⁶⁾ は、穂のみの含水比を引き下げる高温・乾燥処理によって、千粒重、登熟歩合が低下したことを報告している。

L9の千粒重がKMより4g高かった原因を乾物生産面よりみると、穂揃期の稈+葉鞘の貯蔵炭水化物量が多く(第5表)、また光合成速度と密接な関係にある葉色は常に濃く(第3図)、登熟期間の $\overline{\text{LAI}}$ はKMに劣ったが、純同化率が高く(第3表)、その結果CGRがKMと同程度となったことがあげられる。これに加えて、穂首節間に大維管束面積さらに篩部面積は粃1粒当たりでみても大きい(第7表)ことが、貯蔵炭水化物や葉からの光合成産物の穂(粃)への輸送上有利に作用し、このことが前述した登熟期前半の粃の乾物蓄積速度が速くなった原因と考えられた。これらの結果、粃殻重には両品種間にほとんど差がなかったにもかかわらず、L9では粃殻自身の容積を超過して炭水化物が蓄積され、約半数の粃が割れ粃となった(第2表)。これには粃殻の鈎合強度や可塑性などが関与するものと推定される。一般に精粃千粒重は粃殻の大きさ(容積、粃殻重で代替される^{2,17,22,23,25)}によって規制される^{15,20)}が、粃容積を超過してデンプンを蓄積する能力、換言すれば、千粒重の可変性の大きさは重要な栽培学的意味を持つものと考えられる。すなわち多収性品種において面積当たり粃数が何らかの理由で十分に確保できなかった場合に、千粒重の増大を通して、高い収量水準の確保が可能となるからである。本研究で得られたL9の千粒重の平均値27.7gは、江蘇省の慣行栽培のm²当り粃数4~5万粒の場合より約5g重かった。今後、粃殻の鈎合強度や可塑性の品種間差異や栽培条件の影響について、さらに形態的および生理的な面から詳しく検討することが必要であろう。

引用文献

1. Amano, T., Q. Zhu, Y. Wang, N. Inoue and H. Tanaka 1993. Case studies on high yields of paddy rice in Jiangsu Province, China. I Characteristics of grain production. Jpn. J. Crop Sci. 62: 267—274.
2. Hayashi, K. 1972. Current development and relating problems of rice varieties with high yielding potential. IPC, Newsletter 21: 18—32.
3. 平岡博幸・鷲尾 養・寺島一男 1982. 多収水稻の生理生態的特性の解明. 2) 多収水稻の生育収量に及ぼす窒素および堆肥施用量の影響. 日作紀 51(別2): 11—12.
4. ———— 1983. ————. 4) 多収水稻の生育収量に及ぼす窒素施肥量並びに灌漑法の影響. 日作紀 52(別1): 13—14.
5. ————・田島克己・西山岩男・鈴木良典 1983. ————. 6) 登熟期における稈・葉鞘の炭水化物含有量の品種および窒素施肥法間差異. 日作紀 52(別2): 8—9.
6. ————・寺島一男・——— 1986. ————. 9) 炭水化物の動態からみた多収性品種育成の目標形質. 日作紀 55(別2): 17—18.
7. 星川清親 1975. イネの生長. 農文協, 東京. 262—283.
8. 星野孝文・平岡博幸・八木忠之 1982. 暖地水稻の品種生態に関する研究. 一単位面積当り収容量の品種間差異. 九州農業研究 44: 18.
9. 石塚喜明・田中 明 1958. 水稻の葉の栄養生理学 [3]. 農及園 33: 1631—1634.
10. 亀島雅史・松尾喜義・小松良行 1987. 多収性外国稲の品種生態の解析. 8. 超穂重型品種の穂首節間における大維管束数とその大きさ. 日作紀 56(別2): 55—56.
11. 川原治之助・松田智明・長南信雄 1977. 稲の形態形成に関する研究. 第11報 小穂軸維管束の微細構造と転流機構について. 日作紀 46: 537—542.
12. 小松良行・松尾喜義・上村幸正 1985. 多収性外国稲の品種生態の解析. 7) 穂首節間の大維管束からみたアケノホシの特徴. 日作紀 54(別1): 10—11.
13. 丸山幸夫・梶木信幸・田嶋公一 1988. 日本稲およびインド稲の窒素に対する生育反応. 第1報 窒素施

- 肥によるわら重と穎花数増加の品種間差異. 日作紀 57: 470—475.
14. 松田清勝 1929. 米粒発育中に於ける水分変化及び発育と熟期との関係に就いて. 日作紀 1(3): 58—65.
 15. 松島省三 1957. 水稻収量成立と予察に関する作物学的研究. 農技研報 A5: 1—271.
 16. 村山 登・吉野 実・大嶋正男・塚原貞雄・川原崎裕司 1955. 水稻の生育に伴う炭水化物の集積に関する研究. 農技研報 B4: 123—165.
 17. ——— 1982. 収量漸減法則の克服. 養賢堂, 東京. 27—77.
 18. 斎藤邦行・柏木伸哉・木下孝宏・石原 邦 1991. 水稻多収性品種の乾物生産特性の解析. 第 4 報 穂への同化産物の分配. 日作紀 60: 255—263.
 19. ———・下田博之・石原 邦 1993. ————. 第 6 報 新・旧品種の比較を通じて. 日作紀 62: 509—517.
 20. 佐藤 庚 1968. 稲の粃殻の大きさの意義について. 日作紀 37: 454—456.
 21. 宋 祥甫・懸 和一・川満芳信 1990. 中国産ハイブリッドライスの物質生産に関する研究. 第 3 報 収量生産期間における非構造性炭水化物及び全窒素濃度の変動からみた子実生産特性. 日作紀 59: 107—112.
 22. 武田友四郎・岡 三徳・懸 和一 1984. 暖地における水稻品種の物質生産に関する研究. 第 2 報 明治期以降の新旧品種の子実生産特性. 日作紀 53: 12—21.
 23. ———・———・——— 1984. ————. 第 4 報 本邦暖地品種と韓国新品種の子実生産特性の比較. 日作紀 53: 28—34.
 24. Takita, T. 1988. Grain ripening of a high yielding rice cultivar with very large grains. Jpn. J. Breed. 38: 443—448.
 25. Tanaka, A. 1972. The relative importance of the source and sink as the yielding-limiting factors of rice. Tech. Bull. No. 6, Food & Fertilizer Tech. Cent. ASPAC. 1—18.
 26. 津野幸人・中井敏久 1984. 穂の含水比ならびに呼吸速度よりみた登熟機能の解析. 日作紀 53(別 2): 94—95.
 27. 和田源七 1969. 水稻収量成立に及ぼす窒素栄養の影響. 農技研報 A16: 1—167.
 28. 王 余龍・蔡 建中・徐 永林・華 鶴良 1990. 水稻米子粒受容活性及其控制. I 米子粒含水率と受容活性的関係. 江蘇農学院学報 11(3): 25—29.
 29. ———・——— 1990. ————. II 米子粒含水率と ^{14}C 光合産物分配及轉化的関係. 江蘇農学院学報 11(4): 27—31.
 30. 翁 仁憲・武田友四郎・懸 和一・箱山 晋 1982. 水稻の子実生産に関する物質生産的研究. 第 1 報 出穂期前に貯蔵された炭水化物および出穂後の乾物生産が子実生産に及ぼす影響. 日作紀 51: 500—509.
 31. ———・懸 和一・武田友四郎 1986. ————. 第 4 報 出穂期における全炭水化物濃度の品種間差. 日作紀 55: 201—207.
 32. 山本由徳・吉田徹志・榎本哲也・吉川義一 1991. 日印交雑稲および半矮性インド稲の粃数生産能率と登熟特性. 日作紀 60: 365—372.